

# 螺杆式固体物料输送装置应用于下行床入口的小型实验

邓欣, 邓任生, 魏飞, 金涌

(清华大学化工系, 北京 100084)

**摘要:** 将螺杆式进料器应用于下行床热态小试实验装置的入口进行催化剂的输送, 考察了出入口压差、下行风量、温度等因素对输送速率的影响. 结果表明, 可以通过调节顶部压力比较灵活地控制进料速率.

**关键词:** 下行床入口; 螺杆式输送装置; 压差; 下行风量; 温度

中图分类号: O643.32 文献标识码: A 文章编号: 1009-606X(2001)04-0343-04

## 1 前言

下行床作为新一代的重油催化裂化/裂解反应器, 由于其低返混<sup>[1,2]</sup>, 相对于提升管反应器的优势是众所周知的. 但是, 由于其高温短接触的特点, 实现下行床入口处油气与催化剂快速、均匀地接触与混合是该过程成功的关键<sup>[3,4]</sup>. 如何开发和设计合理有效的催化剂输送与流量控制系统, 并将其应用于热态下行床反应器中, 是一个有待解决的问题.

对于下行床热态小试实验装置, 稳定的催化剂流率是维持体系反应系统正常运行的基础. 同时准确地调整剂油比对于考察实验条件对反应的影响, 优化实验条件也是十分重要的. 目前该装置用于浆态物料的输送有所报道<sup>[5]</sup>, 但未见用于快速流化床的进料系统的报道. 本文考察了一种螺杆式固体物料输送装置在下行床中的应用, 并对其性能进行了研究.

## 2 装置和实验方法

螺杆式进料装置结构如图 1 所示. 采用电机和减速装置来带动一根螺杆, 螺杆的凹槽允许物料通过. 低端为进料端, 高端为出料端. 当螺杆旋转时, 物料沿着螺旋的方向在凹槽内移动, 并不断被输送到出料端. 实验装置中, 储料罐直径 450 mm, 高 1 200 mm, 用管式电炉加热; 螺杆式进料器直径 20 mm, 长 100 mm, 螺距 25 mm, 两端高度差为 45 mm; 进料器入口管内径 20 mm, 出口管径 13 mm; 下行床长 4 300 mm; 输送的物料为 FCC 催化剂, 平均粒径 66.78  $\mu\text{m}$ , 堆密度为 853  $\text{kg}/\text{m}^3$ .

从该装置的工作原理可以看出如下特点: (1) 由于采用外加功率使颗粒运动, 因此不需要松动风, 而且不会有堵塞的危险; (2) 出口端比入口端高, 因此可以封住相当程度的逆压; (3) 松动风的去除可以去掉不稳定的因素, 稳定转动的电机可以保证下料稳定; (4) 没有输送风

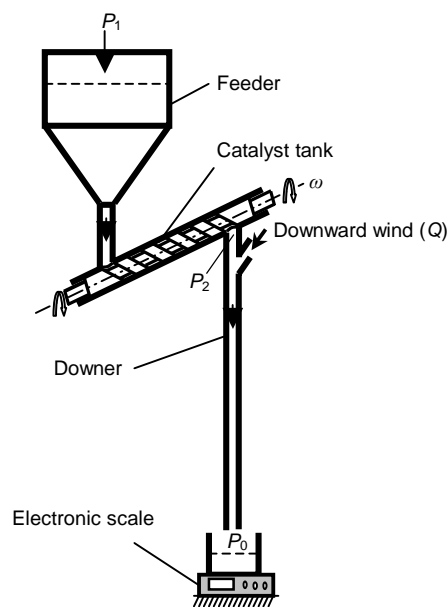


图 1 螺杆式固体物料输送装置示意图  
Fig.1 Sketch of a screw feeder for a downer

和松动风, 因此输送时颗粒呈密相状态, 从而可以达到很高的输送量。

利用图 1 所示的装置考察了该进料器的性能。顶部催化剂储罐面积大, 并采用物料补偿的方法来保证料面的稳定。罐内的催化剂保持初始流化, 其内的压力  $P_1$  可以通过改变储罐出口阀开度来加以调节, 由精密压力表测量。在进料器的出口处设置了一个 U 型管测压计来测量该点的压力  $P_2$ 。有一股下行风  $Q$  通过喷嘴进入到下行床内, 以模拟反应时的原料油气。气固混合物在下行床内并流下行, 在出口处依靠惯性得以分离。气体进入大气, 而催化剂收集在容器中, 利用电子秤测量其质量, 从而可以获知催化剂的流率。

### 3 结果与讨论

#### 3.1 总进料量与时间的关系

催化剂流量的大小直接关系到催化裂解过程的重要参数—剂油比, 从而影响催化剂的结焦状况; 同时, 由于裂解过程所需能量由催化剂携带的显热提供, 催化剂流量还会影响到反应温度的高低。因此保证均匀的进料速率, 是热态实验对进料装置的基本要求。在一定的轴转速、顶部压力  $P_1$  和下行风量  $Q$  时, 可测定催化剂的进料情况, 如图 2 所示。其中轴转速为 160 r/min, 下行风量  $Q=1.0 \text{ Nm}^3/\text{h}$ 。不难看出, 输送的催化剂与时间呈很好的线性关系, 表明该装置能够稳定地送料。

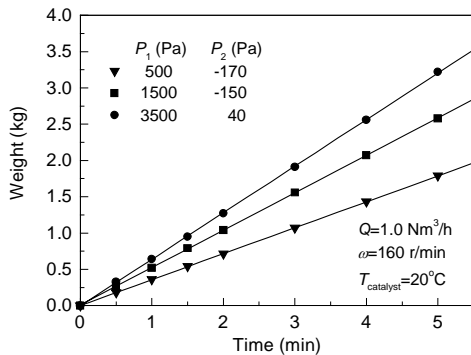


图 2 总进料量与时间的关系

Fig.2 Total feeding weight as a function of time at different catalyst tank pressures

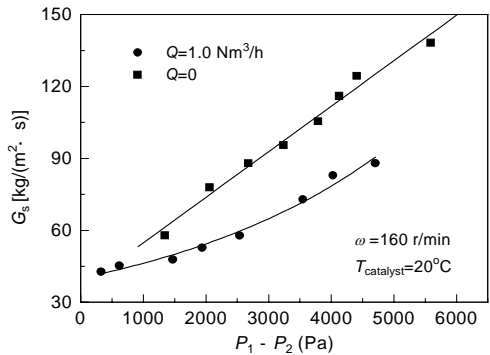


图 3 输送速率与进料器出入口压差的关系

Fig.3 Effect of pressure difference between inlet and outlet of the feeder on feeding rate

#### 3.2 进料器出入口压差对输送速率的影响

在物料输送中, 压差是一个关键的因素。考察时, 固定螺杆转速为 160 r/min, 同时测量  $P_1$  和  $P_2$ 。压差对输送量的影响如图 3 所示。图中有两条曲线, 其中一条曲线是没有下行风时的结果, 另一条曲线是在下行风量  $Q=1.0 \text{ Nm}^3/\text{h}$  下得到的结果。可以发现, 无论有无下行风, 送料量都随压差的增大而增加。下行风量为 0 时, 压差对进料速率的影响更为明显; 而通入下行风后, 进料速率有所下降。可能是下行风的存在使得进料器中的催化剂为气体所饱和, 导致螺杆中颗粒所占分率减少, 从而降低了送料量。

可以看出, 该装置的送料功能依赖于螺杆和压力差两个方面的推动作用。螺杆旋转时, 颗粒沿凹槽螺旋前进, 进入到下行床内。由于螺杆的推动, 克服了颗粒间很大的静摩擦力, 增强了颗粒的流动性, 这样, 进料器前后的压力差可以将催化剂如同气力输送一样送入下行床。与一般的输送相比, 在进料器这样的一个折返型结构中不需要松动风, 即可实现压力差对固体输送量的影响。如果  $P_1$  小于  $P_2$ , 压力差将起阻碍输送的作用。

由此推断,当顶部压力保持不变而出口压力逐步增加时,颗粒输送量将不断减少,到达某一临界值时,该进料器将无法送料.在负压差作用下的这种进料受阻的情况如图4所示.在一定的范围内,负压差的影响并不明显,这说明该进料装置可以封住一定的逆压值;但当其超过一定值时,送料量开始迅速减少,并最终达到0.此时尽管螺杆在旋转,但并没有催化剂进入到下行床内.

在催化裂解的操作中,如果进油速率很大,而顶部压力不够,则形成较大的负压差,使得进料量大为减少,并最终完全没有催化剂下行.因此,控制进料器前后的压差,对催化剂的正常稳定进料是非常重要的.

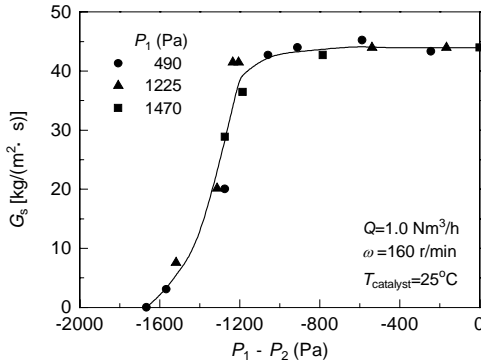


图4 逆压对输送速率的影响

Fig.4 Effect of negative pressure difference on feeding rate

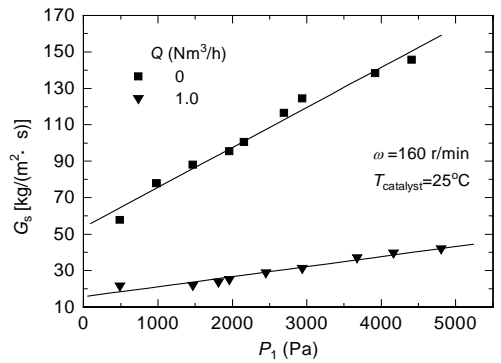


图5 输送速率与顶部压力的关系

Fig.5 Effect of pressure in catalyst tank on feeding rate

### 3.3 顶部压力对输送速率的影响

虽然进料器出入口压差决定了输送量,但由于热态小试时,控制的仅仅是储料罐的压力,所以,研究顶部压力对输送速率的影响是非常必要的.

从图2可以看出,顶部压力越高,送料量越大,说明压力对于该装置的性能是有影响的.这可以由图5更清楚地看出.所用的螺杆转速为160 r/min.当下行风量一定时,固体流量随顶部压力的升高而明显增加.在实验操作中,可以在一定范围内通过调节顶部压力来控制颗粒流量的大小.

### 3.4 下行风对输送速率和压降的影响

图5表明,下行风量的大小对于进料速率也是有影响的.对此进行了详细的考察,得到图6所示的固体流率以及床层压降与下行风量的关系.此时顶部储料罐的压力 $P_1$ 为490 Pa.可以看出,下行风量增大,下行床压降( $P_2-P_0$ )增大,由于 $P_0$ 是大气压,实际上是 $P_2$ 增大,相应的进料器出入口压差( $P_1-P_2$ )变小,对应的送料量减小.在催化裂解反应中,原料油在高温下气化,形成较多的下行气体,而由上文所述,这种气体的量会影响催化剂的下料速率.因此调节原料油流量时应谨慎,因为它会同时从固体和液体流率来影响剂油比,而剂油比则是影响裂解过程的重要参数之一.

由于裂解过程是增分子反应,较低的系统压力有利于反应转化率的提高.因此,考察下行床反应器的压降特性是很重要的.与提升管入口压力高于出口的情况不同,下行床内的压降可能为正、负或零.图6所示的压降-流量关系表明,下行床的压降整体上看比较低,并随着气速的增加而上升.在较大的颗粒流量下,这种变化也更为明显.

### 3.5 催化剂温度对输送速率的影响

以上实验都是常温下进行的流动,由于催化裂解过程中的催化剂温度可高达700~800°C,考察热态下的气固流动相当必要.下行风不加热,而分别设定催化剂温度为25、420和650°C,改变进料器前后的压差,获得如图7所示的输送速率与压差的关系.从图可以看出,温度对催化剂的输送量有着明显的影响.相同的螺杆转速和压差作用下,高温下的催化剂进料量大大增加,而且温度越高,流量越大.例如,在压差为294 Pa时,3个温度下的固体输送量分别为42.7、60.3和

253.8 kg/(m<sup>2</sup>·s), 相差达 6 倍。同时, 随着温度的升高, 压差增大对固体输送量的影响更为明显。其原因可能是两个方面的因素改善了体系的流动特性。一方面是气体的密度变轻, 粘度变小, 当颗粒中包含有这种热气体时, 有利于颗粒的流动。另一方面, 通过测量不同温度下的 DCC 催化剂堆积角发现, 所用的 CRP 催化剂在 8 °C 和 240 °C 下的堆积角分别为 31.48° 和 27.58°, 即在较高的温度下, 催化剂的流动性明显变好。对分子筛催化剂的热重分析表明, 分子筛催化剂在常温下要吸附附近 30% (ω) 的水, 在高温下吸附水释放之后, 颗粒之间的粘附力减小, 使得颗粒具有更好的运动性能。

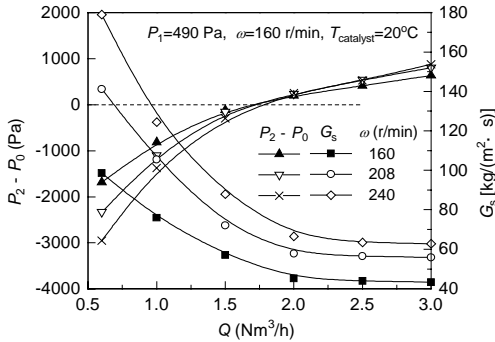


图 6 下行风量对输送速率和压降的影响  
Fig.6 Effect of downward wind rate on feeding rate and pressure difference between downer inlet and outlet

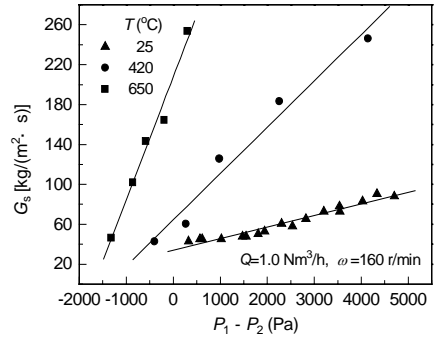


图 7 不同的催化剂温度下压差对输送速率的影响  
Fig.7 Effect of pressure difference between inlet and outlet of the feeder on feeding rate at different catalyst temperatures

由此可以看出, 热态和冷态条件下的气固体系运动性能可能有较大的不同, 而这种差异可能会对催化剂的输送速率有比较明显的影响。例如, 冷态中的颗粒循环量很难做得很大, 可能与低温下固相流动性较差有关。因此, 在热态研究中采用冷态的结果时应当进行仔细分析, 注意两种情况下是否存在很大的差别。

## 4 结语

对螺杆式进料器的研究表明, 该装置用于催化剂进料时具有比较明显的优点, 其进料速率可以通过调节顶部压力来比较灵活地控制。顶部压力在 0~6 000 Pa 范围变化时, 常温下可得到 0~150 kg/(m<sup>2</sup>·s) 的输送速率, 而随着催化剂温度的升高, 可以得到 250 kg/(m<sup>2</sup>·s) 甚至更高的输送速率。

### 参考文献:

- [1] Berg B C L, Bergougnou M A. Reactor Development for the Ultrapyrolysis Reactor [J]. Can. J. Chem. Eng., 1989, 67: 96-101.
- [2] WANG Z W, BAI D R, JIN Y. Hydrodynamics of Cocurrent Downerflow Circulating Fluidized Bed (CDCFB) [J]. Powder Technol., 1992, 70: 271-275.
- [3] 杨艳辉, 邓任生, 魏飞. 气固并流下行床反应器出入口结构研究现状与展望 [J]. 过程工程学报, 2001, 1(1): 106-112.
- [4] 陈丙瑜, 方国平, 杨成斌. 气固顺流下行流化床入口结构的实验研究 [J]. 化工冶金, 1992, 13(1): 44-50.
- [5] 江顺亮, 朱复华. 非塞流固体输送理论的简化 [J]. 中国塑料, 1995, 11: 60-63.

## Experiment on Screw Feeder at the Inlet of a Downer

DENG Xin, DENG Ren-sheng, WEI Fei, JIN Yong

(Dept. Chem. Eng., Tsinghua Univ., Beijing 100084, China)

**Abstract:** Delivery of catalyst particles by a screw feeder at the inlet of a downer in a hot model was studied, and the effects of pressure difference, downward wind, temperature on feeding rate were investigated. Experimental results show that the feeding rate can be flexibly controlled by adjusting the pressure in the catalyst feeding tank.

**Key words:** inlet of downer; screw feeder; pressure; downward wind; temperature